

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Zorn, Tobias; Shigunov, Vladimir

Untersuchung der dynamischen Stabilität mit Feldmethoden

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101955>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Zorn, Tobias; Shigunov, Vladimir (2013): Untersuchung der dynamischen Stabilität mit Feldmethoden. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Havarie des TMS Waldhof - Bergung, Analysen, Einsichten. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 35-40.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Untersuchung der dynamischen Stabilität mit Feldmethoden

Dipl.-Ing. Tobias Zorn, Dipl.-Ing. Vladimir Shigunov, FutureShip GmbH

Hintergrund

Am 2011-01-13 kenterte das mit Schwefelsäure beladene TMS „Waldhof“ im Rhein. Zwei Personen starben aufgrund des Unfalls. Die Untersuchung des Unfalls hat gezeigt, dass falsche Beladung für die Kenterung des TMS „Waldhof“ eine große Rolle gespielt hat: das Schiff war überladen und alle Laderäume waren nur teilweise gefüllt, so dass große freie Oberflächen in allen Laderäumen vorhanden waren. Als Ergebnis dieser falschen Beladung, war die Anfangs- metazentrische Höhe entgegen existierender Vorschriften nur ca. 0.26 m. Aufgrund besonderer Strömungsbedingungen bzw. Topographischen Besonderheiten ist der Unglücksort als ein riskanter Bereich für Binnenschiffe bekannt. Zahlreiche Simulationen des Schiffsverhaltens mit vereinfachten Simulationsmodellen wurden vorher von der BAW durchgeführt, um die Kenterung des Schiffes zu erklären. FutureShip wurde beauftragt, eine Simulationsmethode zu verwenden, die möglichst genau alle relevanten physikalischen Effekte modellieren kann. Simulationen basierend auf Reynolds-gemittelten Navier-Stokes Gleichungen wurden durchgeführt, um die Einflussfaktoren auf den Unfallhergang genauer zu untersuchen.

Untersuchung

Das Ziel der Untersuchung war, die Wirkung unterschiedlicher Faktoren auf den Kenterungsvorgang zu untersuchen. Wegen den nichtlinearen Kopplungen zwischen Schiffsbewegungen, Bewegungen der Schwefelsäure in den teilgefüllten Ladungsräumen und der externen Schiffsströmung im Rhein, ist es nicht möglich, die Wirkung jedes einzelnen Faktors individuell zu quantifizieren. Eine Wichtung unterschiedlicher Faktoren auf den Kentervorgang des TMS „Waldhof“ ist jedoch durchführbar, indem das numerische Modell stufenweise vervollständigt wird. In jeder Stufe, wird ein weiterer Faktor hinzugefügt, sodass sein relativer Beitrag aus dem Vergleich der Ergebnisse mit der vorherigen Stufe quantifiziert werden kann.

Die Bewegungen der Schwefelsäure in den teilgefüllten Ladungsräumen und die daraus resultierenden Kräfte und Momente auf das TMS „Waldhof“ wurden in allen Stufen mit Feldmethoden simuliert. Um den Einfluss von externen Faktoren auf die Schiffsdynamik zu quantifizieren, wurden stufenweise vier Modelle der externen Kräfte und Momente verwendet:

1. Einfluss der Bewegungen der Schwefelsäure in den Ladetanks

Um den Einfluss von Sloshing-induzierten Bewegungen der Schwefelsäure in den Ladetanks auf die wirkenden Kräfte und Momente zu erfassen, wurde das Schiff in der ersten Untersuchung gefesselt entlang der Fahrspur geführt; die horizontalen Bewegungen entlang der Bahnkurve sowie der Zeitverlauf des Gierwinkels wurden aus einer Simulation mit einem Schiffssimulator der BAW übernommen, die die Radaraufnahmen am besten reproduziert,

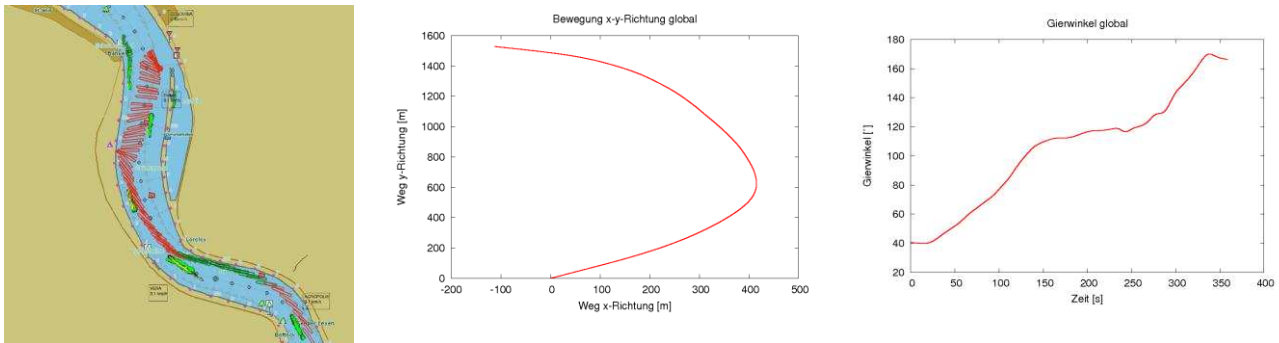


Bild 1: Ergebnisse der BAW-Simulation (links), die als Eingabe für die Bahnkurve (Mitte) und Gierbewegung (rechts) benutzt wurden

Diese Untersuchungen berücksichtigen nur die Kräfte und Momente aufgrund von Sloshing in den Tanks, die durch Längs-, Quer- und Gierbeschleunigungen erzeugt werden; sie quantifizieren aber noch nicht die anteilige Wirkung dieser Kräfte und Momente auf das Rollen des Schiffes.

Das berechnete krängende Moment aufgrund von Verschiebung der Schwefelsäure ist in der Bild 2 dargestellt. Die Werte der maximalen krängenden Momente jeweils zur Backbord- und Steuerbord-Seite sind ebenfalls in der Abbildung angegeben und die entsprechenden Maxima mit einem Kreis markiert. Diese Ergebnisse zeigen, dass die aus dieser Simulation resultierenden Momente nicht ausreichen, um das TMS „Waldhof“ zum Kentern zu bringen.

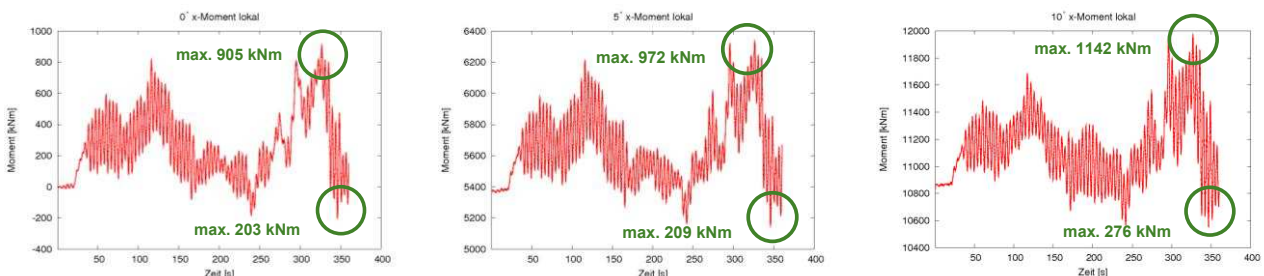


Bild 2: Das krängende Moment aufgrund von Bewegungen der Schwefelsäure in den Ladungsräumen mit unterdrückten Schiffsbewegungen und einer konstanten Krängung von 0° (links), 5° (Mitte) und 10° (rechts)

2. Einfluss der freien Rollenbewegung

Um den Einfluss der durch Sloshing induzierten Kräfte und Momente auf das Rollen des Schiffes zu quantifizieren, wurde ein Modell entwickelt, das freies Rollen zulässt. Wie im ersten Schritt wurden die horizontal-translatorischen und die Gier-Bewegungen nach der BAW-Simulation vorgegeben. Die Rollbewegung wurde über die Zeit integriert. Das Rollmoment aufgrund von Driftkräften wurde berechnet, indem die aus der Querbewegung ermittelte horizontale Querkraft der Höhe nach auf Hälfte des Tiefgangs wirkend angenommen wurde. Das Rückstellmoment wurde aus der GZ-Kurve ohne Ladungseffekte berechnet. Bild 3 zeigt den resultierenden Zeitverlauf des Rollwinkels. Die maximal erreichten Rollwinkel in dieser Simulation sind so groß, dass bei einer genaueren Betrachtung der externen Strömung, eine Kenterung zu diesem Zeitpunkt möglich erscheint.

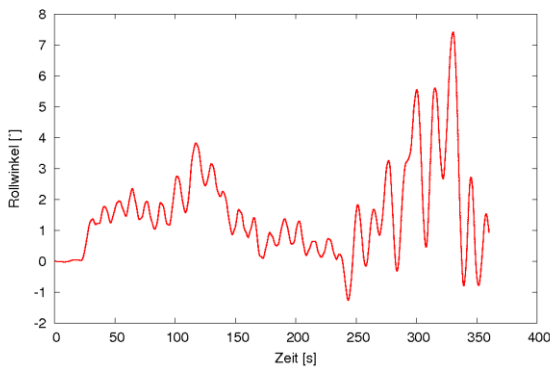


Bild 3: Rollbewegung aufgrund von Sloshing

3. Einfluss der Rumpfumströmung

Im nächsten Schritt wurde das krängende Moment aufgrund von Driftkräften sowie das Rückstellmoment direkt durch Integration der Drücke und Schubspannungen über den Schiffsrumpf berechnet. Die externe Strömung wurde aber vereinfacht, indem die Flussgeschwindigkeit nicht betrachtet wurde; die Schiffsgeschwindigkeit durch das Wasser ist dabei gleich der Schiffsgeschwindigkeit über Grund. Die Simulationsergebnisse in Bild 4 zeigen, dass die externen Kräfte einen wesentlichen Einfluss auf die Rollbewegung haben und für eine Kenterung ausreichen können. In diesem Fall wurde aber die eigentliche Flussströmung in dem Fluss nicht berücksichtigt und ein ruhendes Gewässer angenommen, was zu viel zu hohen Relativgeschwindigkeiten durch das Wasser führte: die Geschwindigkeit über Grund ist ca. 1,7 mal größer als die Geschwindigkeit durch das Wasser, d.h. die Driftkräfte und -momente werden ca. 2,8-fach überschätzt.

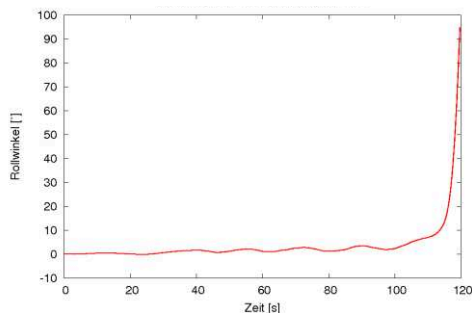


Bild 4: Rollbewegung bei der Simulation ohne Betrachtung der Flussströmung in dem Gewässer

4. Simulationen mit frei fahrendem Schiff

In dieser Stufe, wurde das TMS „Waldhof“ als komplett frei in allen Bewegungsfreiheitsgraden modelliert. Die Strömung in dem Fluss wurde in einer Vorsimulation berechnet; die Bodentopographie wurde von der BAW modelliert. Bild 5 zeigt die Strömungslinien aus der resultierenden Lösung. Als Anfangspunkt für die freie Simulation wurde ein Zeitpunkt kurz vor der deutlichen Reduzierung des Radarsignals des TMS „Waldhof“ in den Radarbildern ausgesucht. Die Anfangsbedingungen (Schiffslage, horizontale Geschwindigkeiten, Gierwinkel und Giergeschwindigkeit) zu diesem Zeitpunkt wurden aus der BAW-Simulation genommen, die mit Radaraufnahmen am besten übereinstimmt. Da Lage und die Geschwindigkeit des Schiffes in allen Freiheitsgraden, sowie Lage und Geschwindigkeitsverteilung der Schwefelsäure dabei nicht bekannt sind, würde es zu sehr großen Anfangsbeschleunigungen in der Simulation führen, wenn man das Schiff direkt frei fahrend in die

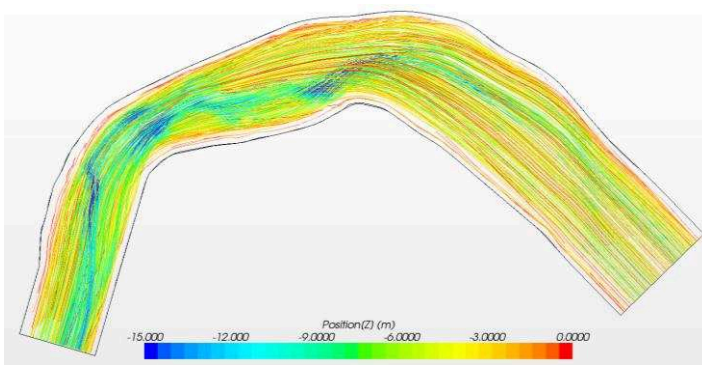


Bild 5: Strömungslinien aus der numerisch simulierten Flussströmung ohne TMS „Waldhof“

modellierte Flussströmung setzt. Diese hohen Anfangsbeschleunigungen können dazu führen, dass numerischen Störungen die Lösung stark beeinflussen. Daher ist es notwendig, das Schiff nach dem Einsetzen schrittweise frei in allen Freiheitsgraden fahren zu lassen. Deswegen wurde das Schiff nach dem Einsetzen in den Fluss noch einige Zeit in allen Freiheitsgraden festgehalten, damit die Störungen der Flussströmung, die durch Einbringen des Schiffes verursacht worden sind, aus dem Rechengebiet stromabwärts gespült werden konnten. Danach, wurde das Schiff über eine Anfangsphase entlang einer glatten Kurve mit sich glatt ändernden horizontalen Geschwindigkeiten und Gierwinkel zu der aus BAW-Simulation folgenden Anfangsposition zwangsgeführt. Anschließend, wurde das Schiff in allen Freiheitsgraden frei schwimmend gelassen. Bild 6 zeigt die Wasserspiegelhöhe im Fluss nachdem das TMS „Waldhof“ in allen Freiheitsgraden frei schwimmend gelassen wurde.

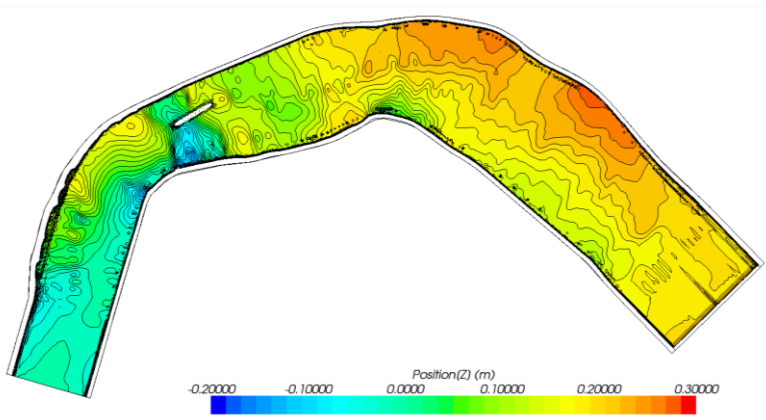


Bild 6: Wasseroberflächen höhe im Fluss bei Betrachtung des frei fahrenden TMS „Waldhof“

Die Relativbewegungen zwischen dem Schiff und dem Flussboden wurden bei dieser Simulation mit der Verwendung von überlappenden Gittern ermöglicht; Bild 7 zeigt die globalen Abmaße des Hintergrundgitters sowie die Verfeinerungen und Details des Gitters um das Schiff, inklusive die überlappenden Bereiche.

Um die Wirkung von Anfangs-GM auf die dynamische Stabilität zu quantifizieren, wurde eine Sensitivitätsstudie durchgeführt, indem das Anfangs-GM durch die Änderungen der Leerschiffsschwerpunktshöhe variiert wurde. Bild 8 zeigt die Zeitverläufe des Rollwinkels für die Simulationsfälle mit dem Anfangs-GM von 0,297 m („Referenz“-Fall: entspricht den Angaben der BAW), sowie Anfangs-GM von 0,4 m, 0,45 m, 0,475 m und 0,526 m.

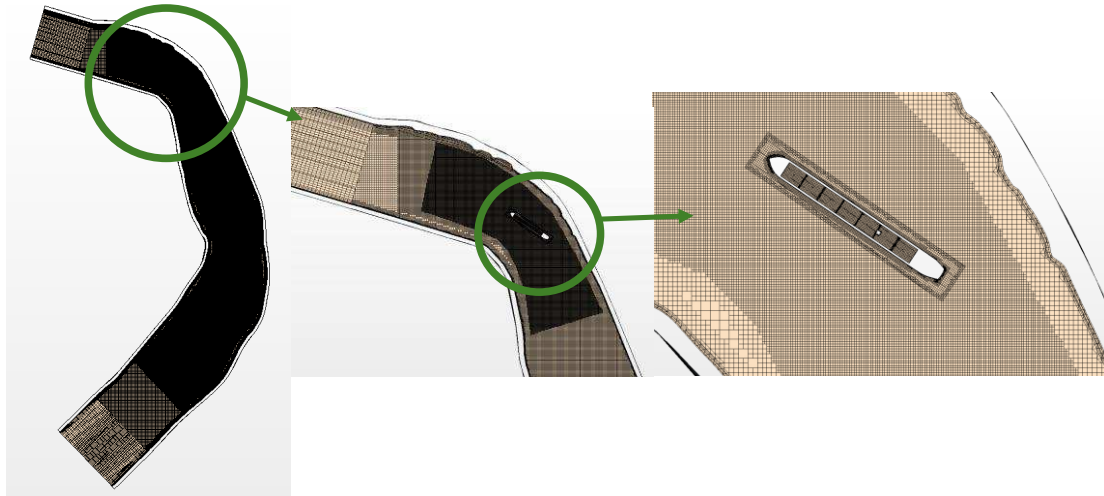


Bild 7: Draufsichten des Berechnungsgitters

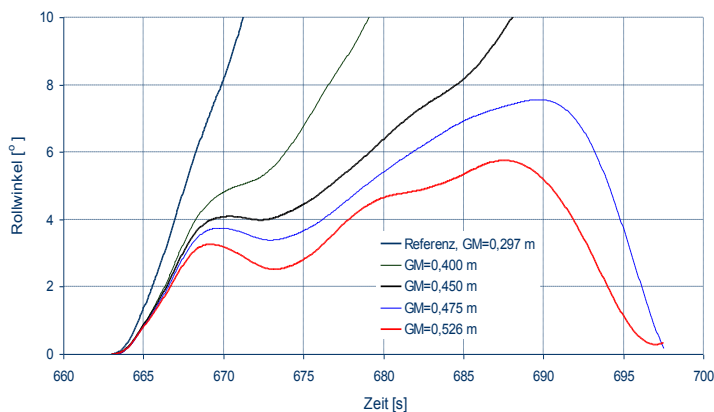


Bild 8: Zeitverläufe des Rollwinkels aus Simulationen der freien Fahrt mit fünf Anfangs-GM Varianten

Die Ergebnisse zeigen, dass das Kentern des TMS „Waldhof“ beim Referenzfall sowie bei $GM=0,4$ und $0,45$ m geschieht; bei den höheren Anfangs-GMs von $0,475$ und $0,526$ m kentert das TMS „Waldhof“ in den Simulationen nicht. Der Grenzwert des GMs zwischen Kentern und nicht Kentern stimmt mit Vorschriften überein.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass ein Rollwinkel von ca. $7,5^\circ$ zum Zeitpunkt von ca. $t=690,0$ s eventuell zu einer Kenterung führen kann. Obwohl in der Simulation mit dem freien Rollen ohne Berücksichtigung der externen Strömung solche Krängung erreicht wurde, führte sie nicht zur Kenterung. Um die Ursachen dafür zu untersuchen, wurden Simulationen der Umströmung mit der freien Wasseroberfläche um das festgehaltene Schiff mit stationären Anströmgeschwindigkeit, Driftwinkel und Krängung durchgeführt. Die Anströmgeschwindigkeit und der Driftwinkel wurden für diese Berechnungen als über das Schiff mittlere jeweils relative Geschwindigkeit durch Wasser und der Driftwinkel zum Anfang der freien Simulationsphase entsprechend der BAW-Simulation sowie der lokalen Strömung in Rhein, ermittelt. Um die Sensitivität der Ergebnisse zu Driftwinkel zu quantifizieren, wurden Simulationen mit unterschiedlichen Strömungsrichtungen zwischen 130°

(entspricht einem Driftwinkel von 50°) bis 180° (Strömung von vorn, d.h. Driftwinkel gleich Null) betrachtet. Zwei representative Krängungswinkel von 0 und 5° wurden untersucht.

Bild 9 zeigt Druck- und Geschwindigkeitsverteilungen für den Driftwinkel von 20° und Krängungswinkel von 10° . Es ist ein Unterdruckgebiet an der Kimm zu erkennen, das eine große, nach unten wirkende Kraft und dementsprechend ein großes krägendes Moment nach Steuerbord erzeugt. Diese Untersuchung zeigt auch, dass das zusätzliche krägende Moment mit ansteigendem Driftwinkel und ansteigender Krängung sich stark erhöht. Die ermittelte relative Geschwindigkeit durch das Wasser von $3,3$ m/s und dem Driftwinkel von 22° reichen aus, um ein genügendes zusätzliches krägendes Moment für das Kentern zu erzeugen.

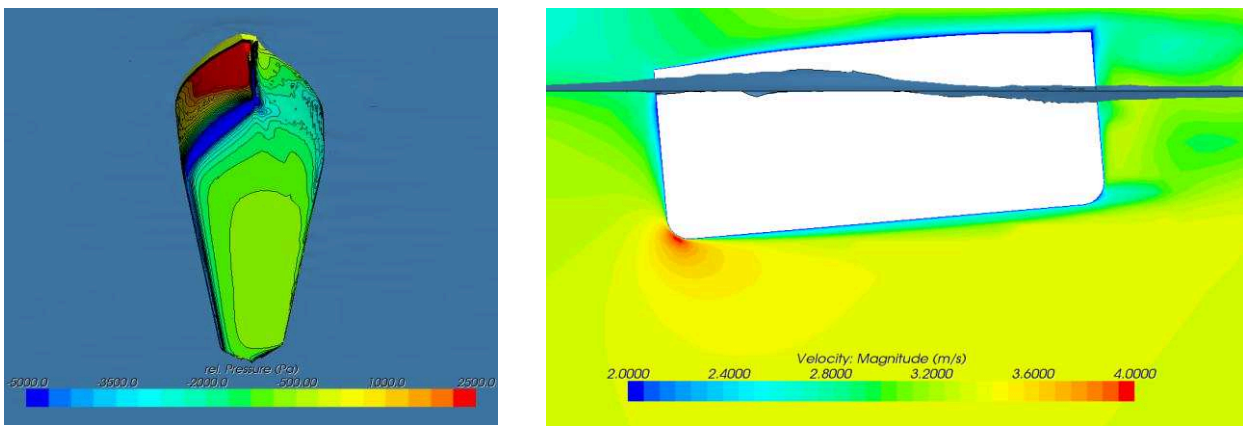


Bild 9: Festgehaltenes Schiff in einer schrägen Anströmung mit der freien Wasseroberfläche bei einem Driftwinkel von 20° , einer relativen Strömungsgeschwindigkeit von $3,3$ m/s und Krängung von 10° nach Steuerbord: Druckverteilung auf dem Boden (links) und Geschwindigkeitsgröße in dem Querschnitt an der Schiffsmitte (rechts)

Zusammenfassung

Die FutureShip GmbH (FS) wurde von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) beauftragt, den Kentervorgang des Tankmotorschiffes „Waldhof“ während des Unglücks am 2011-01-13 zu untersuchen. Um die Einflussfaktoren auf die Rollbewegung des TMS „Waldhof“ zu ermitteln, wurde das Rollverhalten bei einem vorgegebenen Manöver untersucht. Als Vorgabe hierfür dienten ein vom Auftraggeber vorgegebener Ladezustand sowie die Bahnkurve des Schiffes, die aus einem simulierten Manöver stammt und am besten mit Radaraufnahmen des Unfalls übereinstimmt. Der Einfluss folgender Faktoren wurde in der Studie näher untersucht: die Bewegung der Schwefelsäure in den teilgefüllten Ladetanks, die Querbewegung des Schiffes, und die Strömung in der Wasserstraße. Die Untersuchung zeigt, dass ein Kentern des TMS „Waldhof“ unter den untersuchten Beladungs- und operativen Annahmen möglich ist, und dass die folgenden Faktoren von entscheidender Bedeutung sind: (1) Schiffsbewegungen und Beschleunigungen in der horizontalen Ebene, d.h. Bahnkurve und Gierbewegung, (2) Bewegungen der Schwefelsäure in den teilgefüllten Ladetanks und (3) krägendes Moment aufgrund von lateralen und, insbesondere, vertikalen Driftkräften.